

石油化工工人技术培训教材

炼油仪表与自动化

(初 级 本)

魏德军 姜丽华 编
杨彬彦 孙红焜 主审



石油工业出版社

41315



石油化工工人技术培训教材

炼油仪表与自动化

(初 级 本)

魏德军 姜丽华 编

杨彬彦 孙红烨 主审



200405524



烃加工出版社

内 容 提 要

本书主要讲述炼油生产过程中常用的测量仪表、气动调节仪表、电动调节仪表结构原理和调校,并对生产过程自动化仪表现场投用和维修也做了叙述。主要供炼油和石油化工的仪表维修工人阅读。

石油化工工人技术培训教材

炼油仪表与自动化

(初级本)

魏德军 姜丽华 编
杨彬彦 孙红辉 主审

·
烃加工出版社出版
振南印刷厂排版
仰山印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

·
787×1092毫米 16开本 22 1/4印张 569千字印1—2720

1989年11月北京第1版 1989年12月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-075-8/TP·002 定价: 9.40元

编写说明

《炼油仪表与自动化》一书是根据原石油部劳资司培训处制订的教学大纲编写的，供炼油厂及石油化工厂初级仪表工的培训教材。

本书经1983年4月在抚顺召开的仪表和维修钳工两工种工人培训教材审稿讨论会审定，试用一个阶段后，又经中国石化总公司人事部培训处在石家庄召开的教材复审会复审。

全书包括测量仪表、气动调节仪表、电动调节仪表和炼油自动化共四篇。主要介绍了炼油企业和石油化工企业中常用仪表的原理、结构、调校、安装、维护及故障处理，并且对调节系统的组成、投运和调节器参数的整定也做了较详细的介绍。

因自动化仪表发展较快，本书适当地增加了几种新型仪表的内容，为了便于学习，在每章后面附有复习题，可根据需要选用。

教材的第一篇、第二篇、第四篇由魏德军同志执笔，第三篇由姜丽华同志执笔。由大庆石油化工总厂副总、仪表工程师杨彬彦同志和大庆石油化工总厂炼油厂副总、仪表工程师孙红烨同志主审。

本教材在编写过程中得到了抚顺石油一厂、二厂、三厂、兰州炼油厂、荆门炼油厂、林源炼油厂、长岭炼油厂、镇海石化总厂等单位热心审稿，并提出了许多宝贵意见，在此谨向上述单位表示衷心的感谢。

由于时间仓促，编者的水平有限，书中一定有不当之处，请读者批评指正。

编者

1987年2月于大庆

目 录

第一篇 炼油化工测量仪表

概述.....	1
第一章 压力测量.....	8
第一节 基本概念和测量单位.....	8
第二节 液柱式压力计.....	10
第三节 弹性式压力计.....	11
第四节 活塞式压力计.....	16
第五节 压力表的选择、校验和安装.....	17
第二章 物位测量.....	21
第一节 物位测量的基本概念.....	21
第二节 浮力式液位计.....	22
第三节 静压式液位计.....	27
第四节 其它液位计.....	33
第三章 流量测量.....	39
第一节 流量测量的基本概念.....	39
第二节 差压式流量计.....	40
第三节 转子流量计.....	55
第四节 靶式流量计.....	58
第五节 流量测量仪表的校验和标定.....	61
第四章 温度测量.....	63
第一节 温度测量的基本概念.....	63
第二节 膨胀式温度计.....	64
第三节 热电偶温度计.....	66
第四节 热电阻温度计.....	75
第五节 接触式温度计的安装.....	80
第六节 动圈显示仪表.....	82
第七节 电子电位差计.....	90
第八节 电子平衡电桥.....	104
第九节 数字显示仪表.....	109

第二篇 气动调节仪表

概述.....	122
第一章 气动仪表的基本元件.....	124
第一节 弹性元件.....	124
第二节 阻容元件.....	128

第三节	控制元件	131
第四节	功率放大器	134
第二章	气动单元组合式 (QDZ) 仪表	138
第一节	QDZ-Ⅰ型仪表的主要性能、分类与命名	138
第二节	变送单元	139
第三节	调节单元	151
第四节	显示单元	161
第五节	其它单元	182
第三章	气动执行器	187
第一节	气动执行器的结构原理	187
第二节	调节阀的选用原则及特性	193
第三节	阀门定位器	199
第四节	气动执行器的测试、安装和维修	202

第三篇 电动调节仪表

概述	207
第一章 DDZ-Ⅰ型电动单元组合仪表	208
第一节 DDZ-Ⅰ型仪表信号制、主要性能、分类与命名	208
第二节 变送单元	210
第三节 调节单元	233
第四节 显示单元 (比例积算器)	245
第五节 JBJ-Ⅰ型闪光报警器	252
第二章 DDZ-Ⅱ型电动单元组合仪表	259
第一节 DDZ-Ⅱ型仪表的特点、分类与命名	259
第二节 变送单元	261
第三节 调节单元	268
第四节 安全单元	286
第五节 新型控制装置	295

第四篇 炼油过程自动化

概述	299
第一章 炼油过程自动化基本知识	301
第一节 炼油生产过程的调节	301
第二节 自动调节系统的过渡过程及品质指标	303
第三节 调节对象的特性	306
第二章 调节规律对过渡过程的影响	312
第一节 双位调节对过渡过程的影响	312
第二节 比例调节对过渡过程的影响	313
第三节 比例积分调节对过渡过程的影响	318
第四节 微分调节对过渡过程的影响	320

第三章 简单调节系统.....	325
第一节 简单调节系统及典型的调节方案.....	325
第二节 调节系统的投运和故障分析.....	330
第三节 调节器参数的工程整定.....	332
第四章 复杂调节系统简介.....	338
第一节 串级调节系统.....	338
第二节 均匀调节.....	340
第三节 比值调节.....	341
第四节 多冲量调节.....	344

第一篇 炼油化工测量仪表

概 述

在石油化工生产过程中,为了正确地指导生产操作,保证安全生产,保证产品质量和实现生产过程自动调节,需要对工艺生产中的压力、液位、流量、温度等参数进行自动测量。并为自动调节和控制这些参数以及整个生产过程提供可靠的信息。用来测量这些参数的仪表称为炼油化工测量仪表。

一、测量过程

(一) 测量的概念

测量是用实验的方法和专门的设备,把想要知道的未知数参数(通常称为被测量)与该参数已知测量单位进行比较,求出二者的比值,从而得到被测量的量值。被测量的测量值等于参与比较的测量单位乘以上述比值。它可用下式表示。

$$A \approx \alpha u_x$$

式中 A ——被测量;

u_x ——选用的单位;

α ——比值。

上式取近似相等,其一是因为任何测量都必然存在误差,其二是因为任何测量方法和所用的设备都不可能是尽善尽美的。测量工作包括测量方法和测量设备的选择以及测得数据的处理(确定误差的界限和测得结果的可靠程度)。

(二) 测量方法

测量方法就是实现测量与其单位比较的方法。按如何取得测量结果进行分类,可将测量方法分为直接测量和间接测量两种。

直接测量方法 即用基准量值定度好的测量仪表对被测量介质直接进行测量,直接得到被测量的数值。如在炼油生产中用压力表测量容器中气体的压力等。

间接测量法 即利用被测量介质与某些量有确知的函数关系,用直接测量法测得这些有关量的数值,代入已知的函数关系算出被测量的数值。例如用节流装置测量流量时,在测出节流装置前后的压差以后,代入流量方程式就可以算出所对应的流量值。

(三) 测量仪表

在炼油生产过程中,生产条件各有不同,所需要测量的参数也不相同,应用的测量方法及测量仪表种类很多,各种测量仪表的工作原理和结构也各有不同。但是,不论是简单仪表还是复杂仪表,从仪表的组成来看,它们大致都由检测环节、传送放大环节和显示部分三个环节组成。各部分之间的关系如图I-0-1所示。测量仪表的测量过程由检测环节直接感受(测量)被测量,并将它转换成适于测量的信号,经过传送、放大环节进行放大、传送,最后由显示部分进行指示或记录。从测量仪表的测量过程来看,都是将被测参数信号能量形式的一

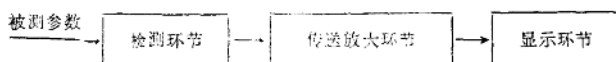


图 I-0-1 测量仪表的组成

次或多次不断变换和传送，并将被测参数与其相应的测量单位进行比较的过程，而测量仪表就是实现这种比较的工具。

二、测量误差

（一）误差的概念

所谓误差就是某一量值的给出值与其客观真值之差。我们进行测量的目的，是希望能正确地反映客观实际，也就是要测量参数的“真实值”。但是，无论怎样努力（包括从测量原理、测量方法、仪表精度等方面的努力），因在测量过程中始终存在着各种各样的影响因素，使得测量结果不可能绝对准确，而只能尽量接近“真实值”。测量值与“真实值”之间始终存在着一定差值，这一差值就是测量误差。该差值越小，说明测量仪表的可靠性越高。因此，求知测量误差的目的就在于用来判断测量结果的可靠程度。

（二）误差分类

在测量过程中，测量误差按其产生的原因不同，可以分为三类。

（1）系统误差 是在同一条件下，多次测量同一被测参数时，测量结果的误差大小和符号保持不变，或在条件改变时，按一定规律变化的误差。它是由于在测量中仪表使用不当或测量时外界条件变化等原因所引起的。例如仪表刻度不准确而引起的误差，这种误差，则可以通过修正的方法进行消除。

（2）疏忽误差 是由于在测量时明显的歪曲测量结果的误差，也叫疏失误差。这种误差的产生主要是由于工作人员在读取或记录测量数据时的疏忽大意所造成的。带有这类测量误差的测量结果毫无意义。因此，必须加强责任感，细心工作，避免发生这类误差。

（3）偶然误差 是指在相同条件下，对某一参数进行重复测量时，测量结果的误差大小与符号都不固定，其值时大时小，其符号时正时负，而且没有一定的规律。每次测量结果的误差都具有随机的性质，故又称为随机误差。产生偶然误差的原因很复杂，因为它是由许多复杂因素微小变化的共同作用的结果所致。

作为单次测量来说，偶然误差是没有任何规律的，即不可预测，也无法控制。但是，作为多次测量来说，偶然误差在整体上也服从统计规律。因此，可以取多次测量结果的算术平均值作为最终的测量结果，这样做可以减小误差对测量结果的影响。

（三）误差的定义及表示法

为了定量地反映测量误差的大小，求取测量值接近真实值的程度，一般可采用以下几种表达方式。

（1）绝对误差 是指仪表的测量值与真实值之间的代数差。用公式表示为：

$$\text{绝对误差} = \text{测量值} - \text{真实值}$$

在应用测量仪表对生产过程中的工艺参数进行测量时，仪表的测量值不能绝对准确地等于被测参数的真实值，只能力求使测量值接近真实值。因此，在实际应用中，是根据所测误差的需要，用尽可能接近于真实值的数值来代替真实值，一般是指用标准表（精度较高）和被校表（精度较低）同时对同一参数测量时，以标准仪表的指示作为被测量的“真实值”，被

校表的指示作为被测量的“指示值”。

在实际工作中，经常使用修正值，即将测量值加修正值后可得近似的真实值。

$$\text{修正值} = \text{真实值} - \text{测量值}$$

$$\text{真实值} = \text{测量值} + \text{修正值}$$

修正值与误差值的大小相等而符号相反，测量值加修正值后可以消除该误差的影响，但必须注意修正值本身也有误差，因此修正后只能测到较测量值更准确的结果。

(2) 相对误差 是指某一测量值的绝对误差与其真实值之比，通常以百分数表示。即

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真实值}} \times 100\%$$

(3) 相对百分误差 (引用误差) 衡量一台仪表准确与否，单凭绝对误差或相对误差是不够的。因仪表的准确度不仅与绝对误差有关，而且还与仪表的标尺范围有关。例如，两台标尺范围 (即测量范围，又称量程) 不同的仪表，如果它们的绝对误差相等，标尺范围大的仪表准确度较标尺范围小的高。因此，工作仪表经常将绝对误差折合成仪表标尺范围的百分数表示，称为相对百分误差 δ 。即

$$\delta = \frac{\text{绝对误差}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

相对百分误差，可以引出仪表示值在其标尺范围内各个点的相对误差，为了表示这类误差的特点，又称相对百分误差为相对引用误差。

(四) 数据处理

由误差的概念可知，用仪表对被测参数进行测量时，总是存在着测量误差的。因此测量结果的表示或运算就不能是任意的，而必须遵循一定的法则，这个法则就称有效数字及其运算法则。

(1) 有效数字 在了解有效数字之前我们先看这样一个说明，有人认为在测量一个物理量时，结果中保留的位数越多，其准确度就越大，实际上在测量结果中，无论写多少位都不可能将准确度超过测量所能允许的范围。例如，用以毫米为刻度的米尺测量物长时，假使物体的一端与米尺的零点对齐，另一端不是恰好与某一刻线对齐，而是在两刻线之间，这时，毫米整数刻度可以准确读到，两刻度之间的读数只能凭眼睛估读 (例如大约在毫米内十分之几的位置)。由刻度尺直接读得的显然是可靠的，就说它是有效的；而估读数的准确度是可疑的，但读出来总比不读它要精确，所以我们规定：把测量结果中可靠的几位数字加上可疑的一位数字统称为测量结果的有效数字。有效数字的位数标志着仪器的准确程度，位数越多，准确程度越高，测量结果的相对误差就越小。有效数字的末位标志着测量结果的精确程度，即反映绝对误差的大小。使用准确度不同的仪器测量时，可以得到不同位数的有效数字。例如用以毫米为刻度的米尺测物长时得到 $L=1.85\text{cm}$ ，其中1和8两位数字是准确的，5是可疑的，即得三位有效数字；当用准确度为 0.05mm 的卡尺量同一物长时得到 $L=1.852\text{cm}$ ，即得到四位有效数字；再用准确度为 0.01mm 的螺旋测微器测量时得到 $L=1.8521\text{cm}$ ，即取得了五位有效数字。

在测量工作中规定，所有的测量数据都只写有效数字，而不能随意多写或少写。对一组等精度测量的数据，其有效数字一般不能直接由测量仪器的准确度确定，而是由测量结果的绝对误差的大小来确定。误差的有效数字一般取一位，将有效数字的定义和误差取一位结合

起来,就能写出测量结果的数值了。例如 $L=2.00 \pm 0.01\text{cm}$ 的写法是正确的, $I=300 \pm 0.3\mu\text{A}$ 的写法是错误的。由绝对误差决定有效数字,这是处理一切有效数字问题的依据。

(2) 关于有效数字的几点注意

有效数字的位数与小数点的位置无关。例如 18.55m 与 1855cm 或 0.01855km 都是四位有效数字。

“0”在数字中间或数字后面都是有效数字,不能随意省略。例如 1.0 和 1.00 在数学上是等效的,但在物理上则有着不同的意义, 1.0 是两位有效数字,而 1.00 是三位有效数字,两者误差不同,准确度不同。

当结果中数字很大或很小,且有效数字位数较少,常用10的指数形式来表示。

参与计算的常数如 π 、 e 、 $\sqrt{2}$ 等,其有效数字的位数可认为是无限的,可根据需要取舍。

(3) 有效数字的运算规则

①数字修约凑整规则,四舍五入是通常所用的尾数舍入法则。但这种见五就入的方法容易给结果引入系统误差。合理的舍入法则是:小于五则舍,大于五则入,等于五则把尾数凑成偶数。由于有的五舍,有的五入,就可使五本身引起正负误差有相消的机会。例如: 4.026 取二位有效数字为 4.0 ; 0.056 取一位有效数字为 0.06 ; 1.235 取三位有效数字为 1.24 ; 10.205 取四位有效数字为 10.20 。

②加减法运算,当几个数作加减法运算时,在各数中,以小数位数最小的为准,其余各数均凑成比该数多一位的数后,进行加减运算,得结果后再凑成与小数位数最小的同位数。

如:

$$\begin{aligned} &50.8 + 4.05 + 0.555 + 0.02587 \\ &= 50.8 + 4.05 + 0.56 + 0.03 \\ &= 55.44 = 55.4 \end{aligned}$$

③乘法运算,当几个数作除法运算时,在各数中,以数字个数最少的数为准,其余各数及积商均凑整比该因子多一个数字,而与小数点位置无关。

如:

$$\begin{aligned} &\frac{502.31 \times 0.53}{4.022} \\ &= \frac{502 \times 0.53}{4.02} = 66.2 \end{aligned}$$

三、测量仪表的基本技术性能

(一) 仪表的基本误差

仪表的基本误差是表示仪表性能的主要指标。是指仪表在正常工作条件(例如周围介质温度、湿度、振动、电源电压和频率),将仪表的示值与标准表的示值相比较,取仪表全量程范围内各个示值中相对百分误差(相对引用误差)的最大者,称为仪表的基本误差,即

$$\text{基本误差} = \frac{\text{示值中最大绝对误差}}{\text{仪表的量程范围}} \times 100\%$$

如果仪表不在规定的正常工作条件下工作,则由于外界条件变动的影响将引起额外误差,称为附加误差。例如,当仪表的工作温度越过规定的范围时,将引起温度附加误差。

(二) 精度等级

反映测量结果与真实值接近程度的量,称为精度,它与误差大小相对应。根据仪表设计制造的质量,出厂的仪表都保证基本误差不超过某一规定值,此规定值称为允许误差。允许误

差去掉百分号后,其数字便是仪表的精度等级。例如,某台测温仪表的允许误差值为 $\pm 0.5\%$,则该仪表的精度等级为0.5级;允许误差为 $\pm 1\%$,则其精度等级为1级,或称1级表。目前,我国生产的仪表其精度有0.005; 0.02; 0.05; 0.1; 0.2; 0.35; 0.5; 1.0; 1.5;

2.5; 4.0等。仪表的精度等级常以圆圈内的数字标注在仪表的面板上,例如0.5级就用

0.5

表示。

一台合格的仪表,其基本误差应小于或等于允许误差。

(三) 非线性误差 (或称线性度)

对于理论上具有线性“输入-输出”特性的测量仪表,往往会由于各种因素的影响,使仪表的实际特性曲线偏离其理论上的线性关系,如图 I-0-2所示。这种偏差叫非线性误差,它用校验曲线与相应的直线之间的最大偏差与仪表标尺范围之比的百分数表示,即:

$$\text{非线性误差} = \frac{\Delta'_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

式中 $\Delta'_{\max}$ ——实际值与理论值的绝对误差最大值。

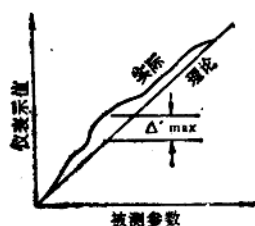


图 I-0-2 非线性现象

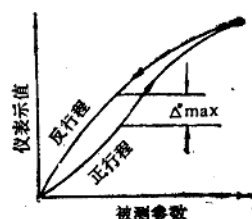


图 I-0-3 测量仪表的变差

(四) 变差

在外界条件不变的情况下,使用同一仪表对某一参数进行正反行程(即逐渐由小到大和逐渐由大到小)测量时,仪表正反行程指示值之间存在一差值,此差值即为变差。如图 I-0-3所示。

造成变差的原因很多,例如传动机构的间隙,运动件的摩擦、弹性元件的弹性滞后的影响等。变差的大小,取在同一被测参数值下正反行程时仪表指示值的绝对误差的最大值与仪表标尺范围之比的百分数表示,即

$$\text{变差} = \frac{\Delta''_{\max}}{\text{标尺上限值} - \text{标尺下限值}} \times 100\%$$

式中 $\Delta''_{\max}$ ——正、反行程时,仪表指示值的绝对误差最大值。

一台合格的仪表,其变差应小于仪表的允许误差。

(五) 灵敏度和灵敏限

灵敏度是表达测量仪表对被测参数变化的灵敏程度。取仪表的输出信号,例如指针的直线位移或转角位移 $\Delta\alpha$ 与引起此位移的被测参数变化量 Δx 之比表示,即:

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta\alpha}{\Delta x}$$

灵敏度也是衡量仪表质量的主要指标之一。仪表的灵敏度可以用增大放大系统(机械的,电子的)放大倍数的办法来提高。但是,必须指出仪表的主要性能取决于仪表的基本误

差,如果单纯地从加大仪表灵敏度来试图达到更准确的读数,这是不合理的,反而可能出现灵敏度似乎很高,但准确度实际上却是下降的虚假现象。为了防止这种虚假灵敏度,常规定仪表标尺上的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

仪表的灵敏限则是引起仪表示值发生可见变化的被测参数的最小变化量。一般仪表的灵敏限的数值应不大于仪表允许误差绝对值的一半。

(六) 反应时间

当用仪表对被测参数进行测量时,由于被测参数的信号(能量)形式的转换和传输,都会遇到各种运动惯性和时间上的滞后,使得参数的测量需要一个时间过程,这个时间称为仪表的反应时间。一台仪表能不能尽快反应出参数变化的情况,也是很重要的品质指标。如果仪表需要较长时间才能得到准确的指示,那就不宜用来测量参数变化频繁的工况,因为当仪表尚未准确显示出被测值时,而参数本身早已改变了,使仪表始终指示不出参数瞬时的真实情况,将会导致显著的动态误差。所以根据实际需要来选择仪表的反应时间也极为重要。

(七) 仪表的校验

仪表的误差、变差等是否符合规定的指标,要通过对仪表进行校验来判断。现在常用的校验方法有两种,即示值比较法和标准物质法。

(1) 示值比较法 如前所述,用被校表和作为标准的仪表同时去测量同一被测量物,比较两表的指示,即可确定被校表的误差和变差等,这种方法叫做示值比较法。

使用这种办法的前提是,可以认为标准表的指示值就是被测量的“真实值”。但是实际上,标准表也有误差。问题在于与被校表的允许误差相比,标准仪表的误差是否能控制在可以“忽略不计”的范围以内。通常,标准仪表的允许误差应为被校表的 $1/3$ 、 $1/4$ 、 $1/5$ 或 $1/10$ 。标准仪表的测量范围应等于或稍大于被校仪表的测量范围。校验几个示值点,对能否正确反映仪表误差有很大影响。通常的做法是选择五个以上的整数刻度点,其中包括上限点和下限点。另外,对非线性刻度标尺的仪表校验点的分配原则也不相同。

(2) 标准物质法 是利用标准物质所提供的某种物理量作为标准量值的一种方法。这种方法是精确度高。缺点是灵活性差,除特殊的情况下很少应用。校验结果的数据处理必须遵循有效数字运算法则。

四、测量仪表的分类

在炼油和化工生产中使用的仪表类型繁多,结构复杂,因而分类方法也不少,现就常见的几种分类方法简介如下。

按仪表所使用的能源来分,可以分为气动仪表、电动仪表和液动仪表,但目前常用的是气动仪表和电动仪表。

按仪表的组成形式来分,可以分为单元组合式仪表和基地式仪表。

单元组合式仪表是将各参数的测量及其变送、显示、调节等各部分,分别做成只完成某一个而又能各自独立工作的单元仪表。这些单元仪表之间以统一的标准信号(气动的为 $20\sim 100\text{kPa}$;电动Ⅱ型为 $0\sim 10\text{mA}$;电动Ⅲ型为 $4\sim 20\text{mA}$)互相联系,可以根据不同要求,方便地将各单元任意组合成各种调节系统,适用性和灵活性均较好,因此,应用广泛。

基地式仪表是将测量、显示、调节等各部分都装在一个壳体内,成为不可分离的整体。

炼油生产过程测量仪表按所测量的参数不同,可分为压力测量、流量测量、液位测量和温度测量等。本篇就是根据这种分类法,将各种主要的炼油测量仪表加以叙述和介绍。

思考题与习题

1. 什么是测量？直接测量法和间接测量法有何不同？
2. 常用的测量仪表由哪几部分组成？简单叙述各组成部分的功能。
3. 什么是系统误差、疏忽误差和偶然误差？
4. 什么是仪表示值的绝对误差、相对误差和相对百分误差（引用误差）？
5. 什么是仪表的灵敏度和灵敏限？
6. 有两台测温仪表，其测量范围分别是 $0\sim 800^{\circ}\text{C}$ 和 $600\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，已知其绝对误差的最大值均为 $\pm 6^{\circ}\text{C}$ ，试求它们的精度等级。
7. 有一只 $0\sim 1.6\text{MPa}$ ，1.5级压力表，校验后发现其变差为 0.015MPa ，问此表的变差是否符合要求？

第一章 压力测量

在石油化工生产过程中，压力是重要参数之一，它不仅影响生产过程的化学平衡关系和反应速率，而且也影响系统物料平衡。由于生产过程不同，需要的压力也不同，有的需要高压，有的需要低压，还有的处在负压（真空）条件下。所以必须严格遵守工艺操作条件，保持所需的压力，才能确保生产正常进行。

压力测量必须反映工艺生产中的压力实际情况，如果压力失去可靠测量，可能会导致设备损坏，甚至引起设备爆炸事故，直接危及设备和工作人员的安全。因此，正确地测量和控制压力是保证工艺生产过程良好地运行，达到优质高产、低消耗和安全生产的重要环节。

第一节 基本概念和测量单位

一、压力的基本概念

在工程技术中，通常所称的压力，就是一物体施加于另一物体单位面积上均匀、垂直的作用力（在物理学中称为压强）。它由受力的面积和垂直作用力的大小决定，方向则指向受压物体，可用下式表示：

$$P = \frac{F}{S}$$

式中 P ——压力，Pa；
 F ——垂直作用力，N；
 S ——受压面积， m^2 。

二、压力测量单位

根据压力的定义，它的大小等于单位面积上的作用力，所以它的单位是力和面积的导出单位。在物理学和工程上应用各种不同的单位制，因此作为一个导出单位的压力，随着所用单位制的不同，也有多种单位。例如物理大气压、工程大气压、毫米汞柱、毫米水柱以及巴等单位。国际上为了单位的统一，推行国际单位制，采用“帕斯卡”（国际制（SI）单位）这一单位为国际压力的统一单位。即：

1牛顿的力垂直而均匀地作用在1平方米的面积上所产生的压力，即牛顿/米²，记作N/m²。叫作“帕斯卡”，简称“帕”符号为“Pa”。

三、压力的种类

在压力测量中，压力有以下几种不同的概念。

（一）大气压力

大气压力就是围绕地球的大气层，对地球表面的单位面积上所产生的力。我们所处的环境中，到处都有大气压力的作用。它的大小随着海拔高度、纬度和气象情况而改变。

（二）表压

用压力表测出高于大气压的压力，叫做表压。工业上所使用的压力表，大部分都是当被

表 I-1-1 压力单位换算表

压力单位	帕	公斤力/厘米 ²	毫米水柱	毫米汞柱	毫巴	标准大气压	磅力/英寸 ²
1帕	1	1.02×10^{-2}	0.102	7.501×10^{-3}	10^{-2}	9.87×10^{-2}	1.4504×10^{-4}
1公斤力/厘米 ²	9.806×10^4	1	10 ⁴	735.56	980.6	0.9678	1.4224×10
1毫米水柱	9.806	10 ⁴	1	7.356×10^{-2}	9.806×10^{-2}	0.9678×10^{-4}	1.422×10^{-3}
1毫米汞柱	133.3	13.6×10^4	13.6	1	1.333	1.316×10^{-4}	1.934×10^{-2}
1毫巴	100	0.102×10^{-2}	10.2	0.7501	1	9.87×10^{-4}	1.45×10^{-2}
1标准大气压	10.13×10^4	1.033	1.033×10^4	760	1013	1	1.4696×10
1磅力/英寸 ²	0.6895×10^4	7.031×10^{-2}	7.031×10^2	51.72	0.6895×10^2	6.805	1

测设备内的压力超过大气压力时，压力表的指针方开始移动，也就是说压力表所指示的压力就是表压。因此，表压是绝对压力和大气压力之差，即

$$P_{\text{表压}} = P_{\text{绝对压力}} - P_{\text{大气压力}}$$

(三) 绝对压力

表压力与大气压力之和，称为绝对压力。它的测量比较麻烦，但它反映了实际压力。如对于气体和蒸气等介质的工况，一般都是用绝对压力来表示的。在工程上采用表压加0.1(以MPa为计量单位时)得到被测压力的绝对值。

(四) 负压 (又叫真空度)

当被测压力低于大气压力时，则称为负压力 (或真空度)。它是大气压力与绝对压力之差，即

$$P_{\text{负压力}} = P_{\text{大气压力}} - P_{\text{绝对压力}}$$

大气压力、表压力、绝对压力、负压 (真空度) 之间的关系如图 I-1-1 所示。

注：在工程技术上，因为各种工艺设备和测量仪表都处于大气之中，所以都用表压 (或真空度)。因此，以后所提的压力，在无特别说明时，均指表压力 (或真空度)。

四、压力测量仪表的分类

在石油化工生产中，根据工艺生产条件不同，所测的压力也各有不同，常把压力测量范围按阶段分类：

高真空 10^{-1} Pa;

中真空 $10^2 \sim 10^{-1}$ Pa;

低真空 $10^3 \sim 10^2$ Pa;

微压 5kPa以下;

低压 5~1.6MPa

中压 1.6~10MPa;

高压 10MPa以上。

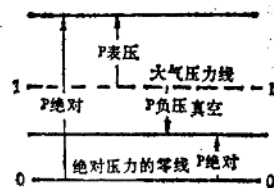


图 I-1-1 表压、绝对压力和负压 (真空) 关系

为了适应生产的需要，压力测量仪表品种规格很多，分类方法也不同，常用而又比较合理的分类是按其仪表的转换原理来分，大致可分四类：

(1) 液柱式压力计 将被测压力转换成液柱高度差进行测量。

(2) 弹性式压力计 将被测压力转换成弹性元件变形的位移进行测量。

(3) 电气式压力计 将被测压力转换成各种电量进行测量。

(4) 活塞式压力计 将被测压力转换成活塞上所加平衡砝码的重力进行测量。

目前生产中使用单元组合仪表的压力变送器的测压部分，仍以弹性元件为基础，关于转

换部分的工作原理将在第二篇叙述。

五、压力量值传递

压力量值传递的目的，是保证压力测量量值的准确和一致。

我国的压力量值传递是从国家基准器复现压力单位量值开始，通过各级标准器和检定手段，逐级传递到工作用的各种类型的压力仪器仪表。

传递的过程是：基准器→工作基准器→一等标准器→二等标准器→三等标准器→工作用器（各种工作用压力仪器仪表）。

对于基准、标准器的名称、测量范围、精度和检定方法请参照国家计量部门颁发的有关规程。

第二节 液柱式压力计

液柱式压力计是以液体静力学原理为基础制成的测压仪表，常见的有U型管压力计、单管压力计和斜管压力计。它们一般采用水银或水为工作液，常用于测量低压、负压或压力差。

液柱式压力计也是最早用来测量压力的一种仪表，由于结构简单、使用方便、价格便宜，精度也能满足要求，目前还得到应用。但是由于它不耐压、易碎，读数不便，体积较大，难于实现自动记录和远距离传递，所以它的应用范围受到限制。一般作为实验室中校验其他仪表（如差压计）的标准表。

一、U型管压力计

U型管压力计，是由一U字形的玻璃管构成的，如图 I-1-2 所示。中间放一个双面刻度的标尺，玻璃管中充入一定量的工作液体。它的一端接被测压力，而另一端则与大气 $P_{\text{大气}}$ 相通，这样由左右两边管内液面高度差 h 便可知被测压力 P 的数值。

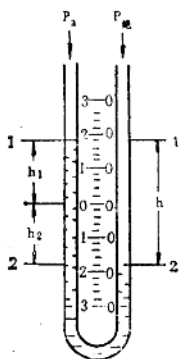


图 I-1-2 U形管液柱压力计

根据静力平衡原理，由图 I-1-2 可知，在U型管2-2截面上，右边被测压力 $P_{\text{绝对}}$ 作用在液面上的力被左边一段高度为 h 的液柱和大气压力 $P_{\text{大气}}$ 共同作用在截面2-2上的力所平衡。

即：

$$P_{\text{绝对}}A = (\rho hg + P_{\text{大气}})A \quad (1-1)$$

式中 A ——U型管内孔截面积；

ρ ——U型管内所充工作液密度；

$P_{\text{大气}}$ ——大气压力；

h ——左右两边液面高度差， $h = h_1 + h_2$ ；

g ——重力加速度，一般取 9.8 m/s^2 ；

$P_{\text{绝对}}$ ——作用在2-2截面处液面上的被测压力。

由式 (1-1) 可得：

$$h = \frac{1}{\rho g} (P_{\text{绝对}} - P_{\text{大气}}) = \frac{1}{\rho g} P \quad (1-2)$$

式中 $P = (P_{\text{绝对}} - P_{\text{大气}})$ ——为被测压力的表压力。

由式(1-2)可知：U型管内两边液面高度差 h 与被测压力的表压值 P 成正比。比例系数